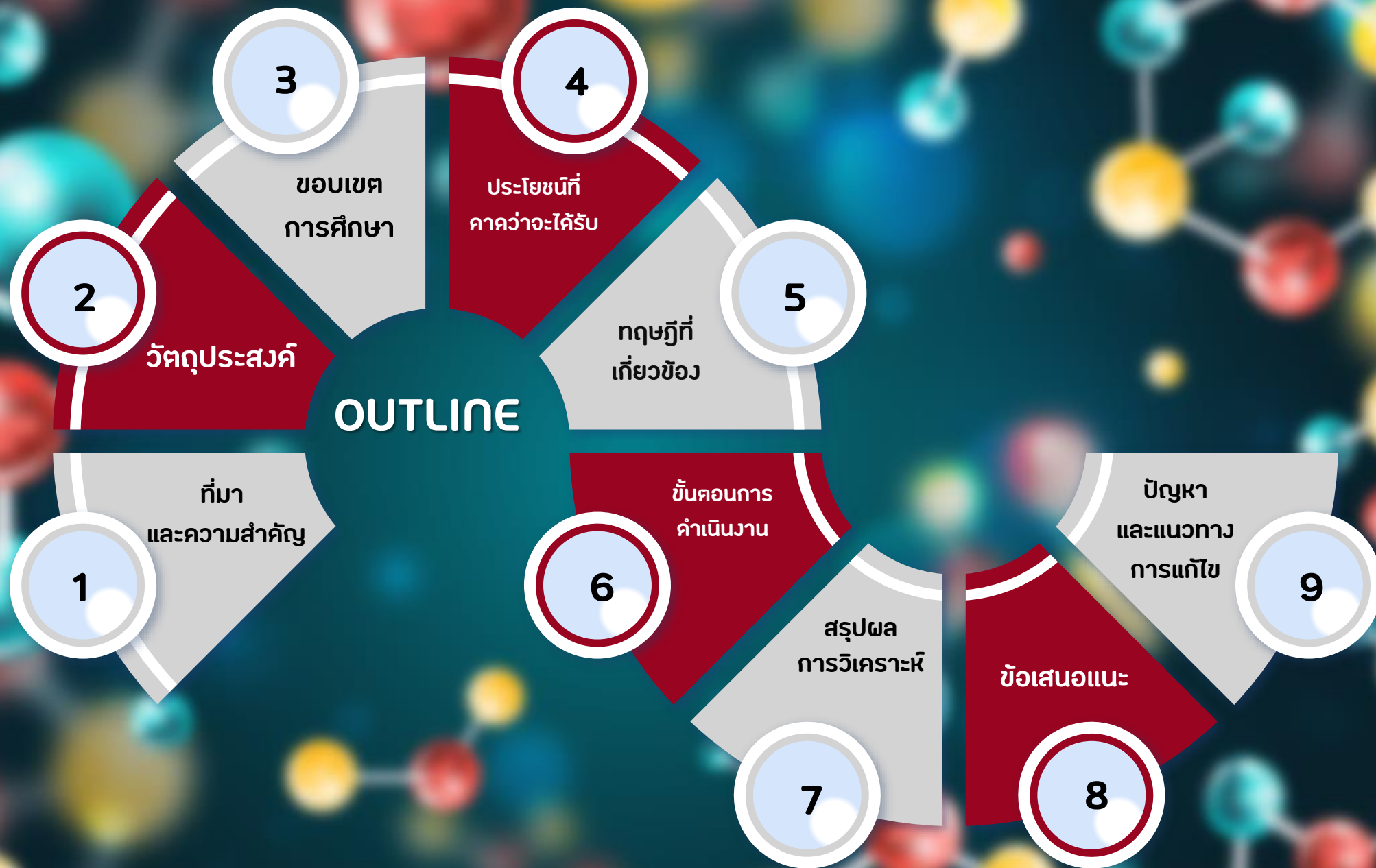


การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสร้างฟิล์มกราฟีน
ด้วยเทคนิคพลาสมาสปัตเตอร์ริง

Finding the Optimal Parameter for Generated Graphene
by Plasma Sputtering



ที่มา และความสำคัญ

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



Licensed under [CC-BY-SA](#) by the author Max Roser.

การหาวัสดุชนิดใหม่มาทดแทนซิลิคอน ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะเป็นการค้นคว้าวิจัยที่สำคัญมากในโลกยุคปัจจุบัน และกราฟีนก็เป็นหนึ่งในวัสดุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด

การหาวัสดุชนิดใหม่มาทดแทนซิลิคอน ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะเป็นการค้นคว้าวิจัยที่สำคัญมากในโลกยุคปัจจุบัน และกราฟีนก็เป็นหนึ่งในวัสดุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด

ที่มา และความสำคัญ



ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิค (Design of Experiment : DOE) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสร้างฟิล์มกราฟีนด้วยเทคนิค พลาสมาสปีตเตอริง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างฟิล์มบาง 3 ปัจจัย คือ ความของดันก๊าซ เวลาในการดิสชาร์จพลาสมา และอัตราส่วนระหว่างก๊าซอะเซทีรีนกับไฮโดรเจน กำหนดปัจจัยคงที่ คือ ขนาดของแผ่นกระจกสไลด์ และความดันอากาศที่ 10^{-1} ทอร์ มีการตรวจสอบค่ามุมสัมผัสด้วยวิธี Sessile Drop ตรวจสอบความหนาของฟิล์มกราฟีนด้วยวิธี Atomic Force Microscope (AFM) และตรวจสอบเอกลักษณ์ของกราฟีนด้วยวิธี Raman spectroscopy

| วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
สำหรับการขึ้นรูป กราฟีนด้วยเทคนิค
พลาสมาสปีดเทอริง

เพื่อยืนยันเอกลักษณ์ของกราฟีนบน
ผิวเคลือบด้วยวิธี Raman Spectroscopy

| ขอบเขตการศึกษา

การกำหนดค่าของพารามิเตอร์ที่
ใช้ในการทดลองโดย กำลังไฟฟ้า 60 –
100 วัตต์ อัตราส่วนระหว่าง $C_2H_2 : H_2$
คือ 30:70 40:60 50:50 และระยะเวลา
ในการคิซาร์พลาสมา 10 – 30 นาที
ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเทคนิค
การออกแบบการทดลองแบบเต็มจำนวน

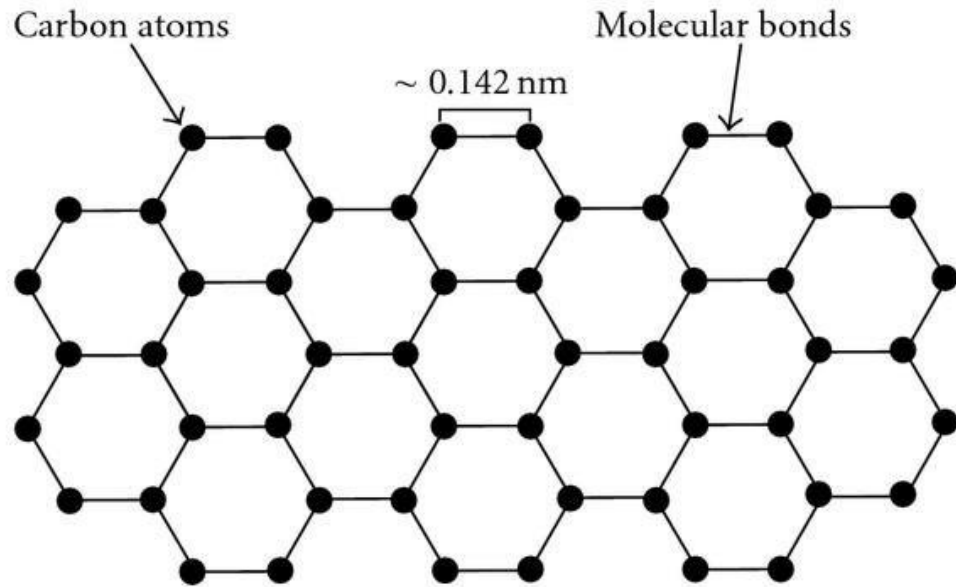
ตรวจสอบความหนาของฟิล์มก
ราฟีนด้วยวิธีAtomic Force โดยค่าที่ได้
ต้องมีความใกล้เคียง 0.34 นาโนเมตร
(ค่าที่ยอมรับได้ 0.5 – 1.0 นาโนเมตร)

| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับ
การเคลือบผิวกราฟีนด้วยเทคนิคการตก
เคลือบด้วยไอทางเคมี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

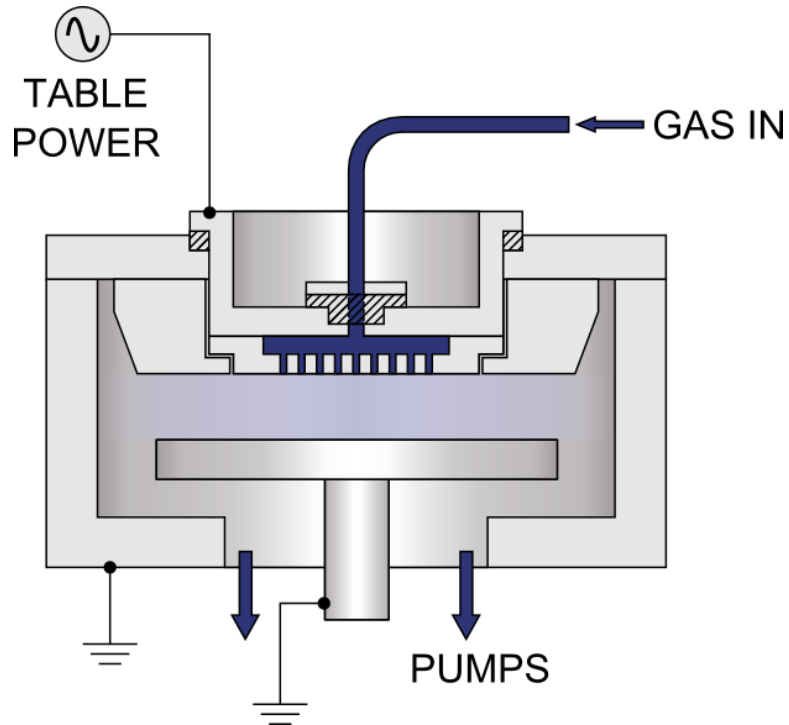
กราฟีน (Graphene)



- เป็นวัสดุแผ่นเสมือนสองมิติ
- ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเรียงตัวต่อกันเป็นวงหกเหลี่ยม (Hexagonal)
- เชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างลักษณะเหมือนกับรังผึ้ง ด้วยพันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรง
- เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้าถึง 200 เท่า
- มีความโปร่งใส (Transparent) โดยแสงสามารถส่องผ่านได้กว่า 97 เปอร์เซ็นต์
- กราฟีนนำไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะทองแดงถึง 4 เท่า เพราะการส่งผ่านอิเล็กตรอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว

การสังเคราะห์ฟิล์มบาง

Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)



เป็นกระบวนการที่ใช้พลาสมาในการสร้างปฏิกิริยาสะสมไอเคมี มีการเพิ่มขั้วไฟฟ้าเข้าไปในตู้เคลือบซึ่งใช้ความดันไอต่ำ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของไอเคมีที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้านั้นแตกตัวเป็นพลาสมา เนื่องจากสารตั้งต้นที่แตกตัวและอยู่ในพลาสมามีความสามารถในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีการสร้างสารเคลือบเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติมาก

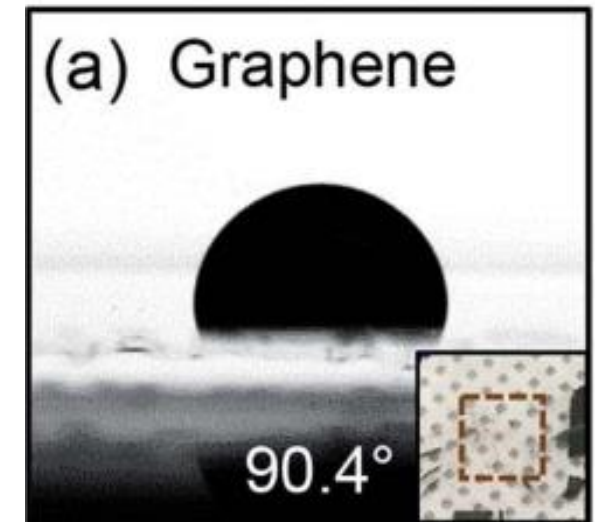
กราฟีนที่ผลิตขึ้นโดยเทคนิคนี้ เป็นกราฟีนที่มีคุณภาพสูง สามารถควบคุมจำนวนชั้นของกราฟีนได้ และมีการนำไฟฟ้าที่ดีจึงเหมาะอย่างยิ่งกับการนำไปใช้ในวงจรรีเลย์ทรอนิกส์

การวิเคราะห์ฟิล์มบาง

Contact Angle



เป็นเทคนิคในการศึกษาสภาพพื้นผิวของตัวอย่าง โดยการหยดสารละลาย เช่น น้ำ ลงบนพื้นผิว และวัดมุมสัมผัสที่เกิดขึ้น การโค้งของผิวของเหลวจะเห็นว่าผิวของเหลวกับผิวของแข็งจะทำมุมกัน เรียกว่ามุมสัมผัส (Contact angle) มุมสัมผัสจะบอกให้ทราบว่าถึงลักษณะของฟิล์มบางที่เกิดขึ้น



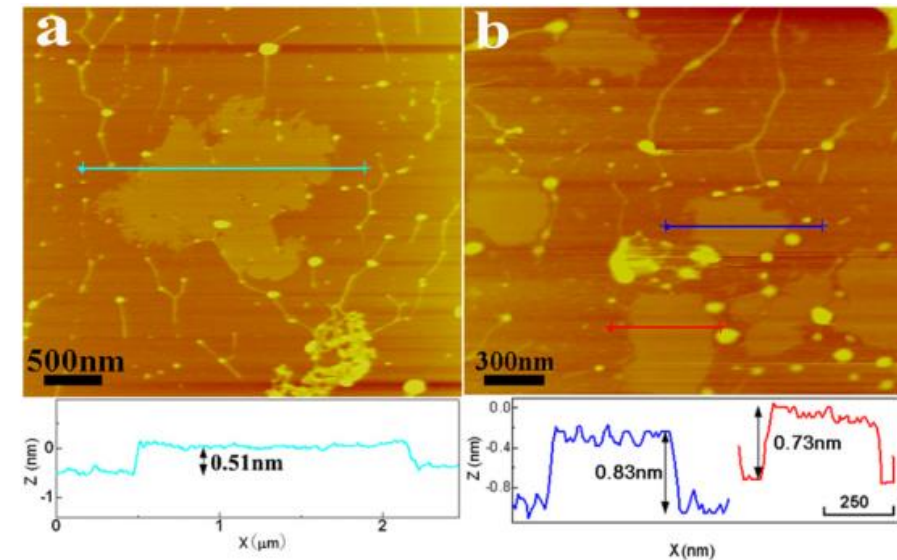
ตามทฤษฎีแล้วมุมสัมผัสของฟิล์มบางกราฟีน มีค่ามุมระหว่าง 90 – 127 องศา

ในวิจัยนี้ ผู้วิจัยตรวจสอบด้วยวิธี Sessile Drop การหยดของเหลวออกจากหลอดฉีดยาขนาดเล็ก โดยการนำพื้นผิวขึ้นไปสัมผัสกับหยดน้ำ

การวิเคราะห์ฟิล์มบาง

Atomic Force Microscopy

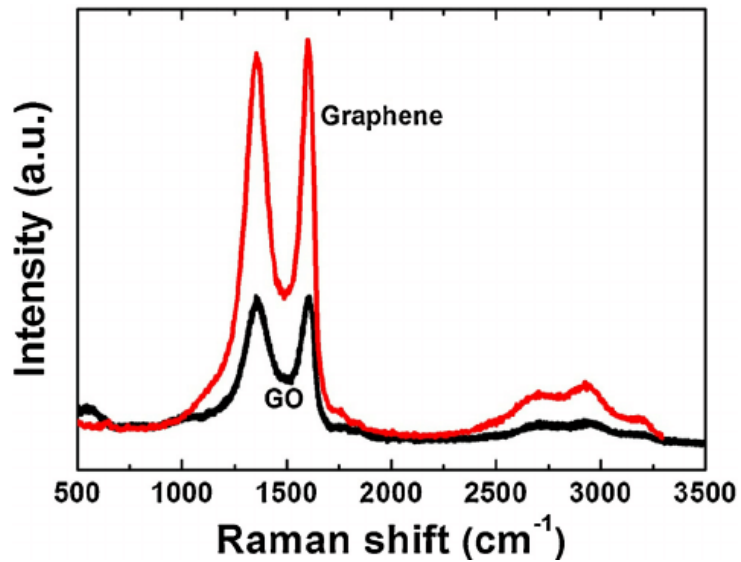
เป็นกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวอ่านส่องกราด (Scanning Probe Microscopes : SPMs) ชนิดหนึ่ง กล้องจุลทรรศน์แรงเมื่อหัวอ่านลงบนพื้นผิวที่จะตรวจวัด จะเกิดแรงที่กระทำต่อกัน ของหัวอ่าน จะทำให้หัวอ่านเอียงด้วยมุมต่าง ๆ กันตามสภาพความสูงต่ำของพื้นผิวซึ่งจะสามารถตรวจวัดได้จากมุมสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ที่ยิงลงไปยังก้านของหัวอ่าน จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะแปลงสัญญาณออกมาเป็นภาพของพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบได้



ภาพแสดงความหนาของกราฟีน Monolayer (a) และ Bilayer (b)

การวิเคราะห์ฟิล์มบาง

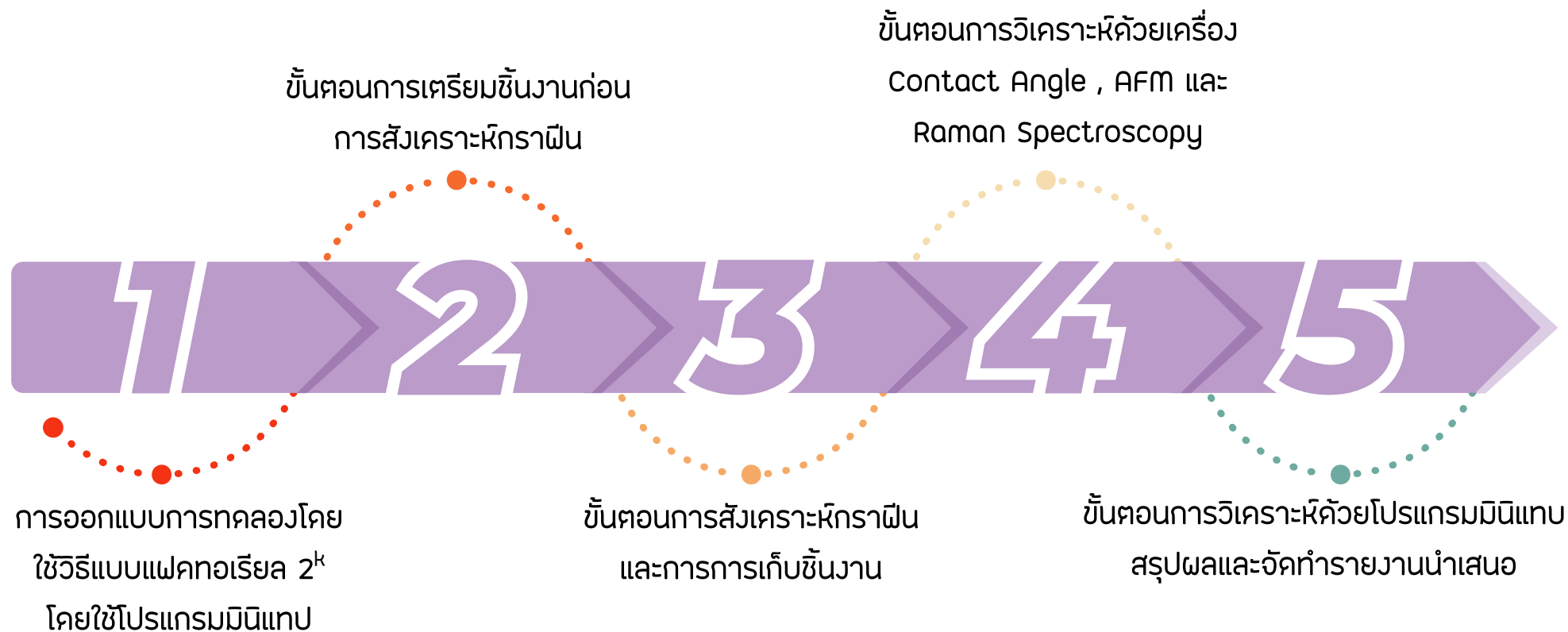
Raman Spectroscopy



เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบ โครงสร้างของโมเลกุล เนื่องจากสเปกตรัมของรามานบอกข้อมูลในส่วนของการสั่นภายใน โมเลกุล หรือการสั่นภายในผลึกตาข่าย เทคนิครามานสเปกโตรสโคปี จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสม ในการศึกษาวัสดุที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สได้ ซึ่งการฉายแสงที่เป็นโฟตอนลงไปยังวัสดุจะไม่ทำลายวัสดุ ตัวอย่าง

กราฟตัวอย่างแสดงอัตราส่วนระหว่างความเข้มของพีค D-Band และ G-Band ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความเป็นระเบียบของ โครงสร้างผลึก และความบริสุทธิ์ของแผ่นฟิล์ม

ขั้นตอนการดำเนินงาน



1 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีแบบแฟกทอเรียล 2^k โดยใช้โปรแกรมมินิแทป

ปัจจัย	ระดับการตั้งค่า			สัญลักษณ์
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)	
1. กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	60	80	100	A
2.อัตราส่วนระหว่างก๊าซอะเซทิลีนกับก๊าซไฮโดรเจน	30:70	40:60	50:50	B
3. ระยะเวลาในการคิสราร์ิงพลาสมา (นาทื)	10	20	30	C

จำนวนการทดลองทั้งหมด 8 การทดลอง
 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ และทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลางจำนวน 5 ครั้ง
 ทำการทดลองหมดทั้งสิ้น 21 การทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	กำลังไฟฟ้า(วัตต์)	อัตราส่วน C ₂ H ₂ : H ₂	เวลา (นาทื)
21	1	0	1	80	40:60	20
3	2	1	1	60	50:50	10
2	3	1	1	100	30:70	10
1	4	1	1	60	30:70	10
17	5	0	1	80	40:60	20
13	6	1	1	60	30:70	30
10	7	1	1	100	30:70	10
14	8	1	1	100	30:70	30
5	9	1	1	60	30:70	30
15	10	1	1	60	50:50	30
11	11	1	1	60	50:50	10
12	12	1	1	100	50:50	10
18	13	0	1	80	40:60	20
7	14	1	1	60	50:50	30
8	15	1	1	100	50:50	30
19	16	0	1	80	40:60	20
6	17	1	1	100	30:70	30
16	18	1	1	100	50:50	30
20	19	0	1	80	40:60	20
4	20	1	1	100	50:50	10
9	21	1	1	60	30:70	10

2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนการสักระเหยฟิล์ม

อุปกรณ์

- กระบอกสไลด์
- ทิชชูไร้ขน
- ถังมือไร้แปรง
- ถังซีปล็อก

สารเคมี

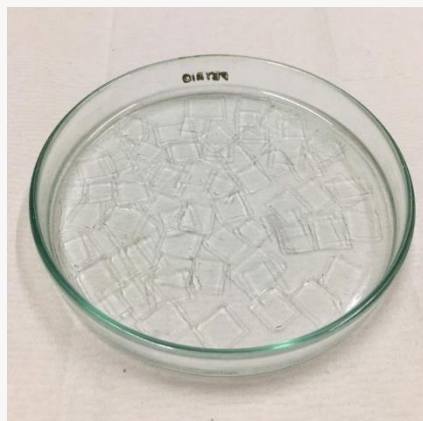
- ก๊าซอาร์กอน (Ar)
- ก๊าซอะเซททิลีน (C_2H_2)
- ก๊าซไฮโดรเจน (H_2)

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

ตัดกระบอกสไลด์
ขนาด 1 x 1 cm.



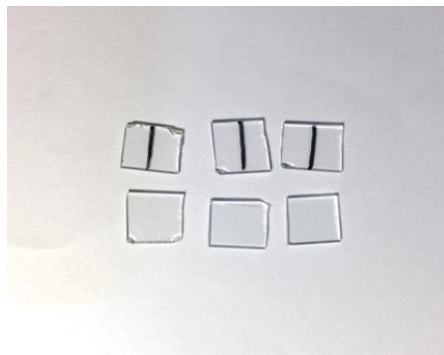
ทำความสะอาดด้วย
สารละลายอะซิโตนแช่ทิ้งไว้
10 นาที



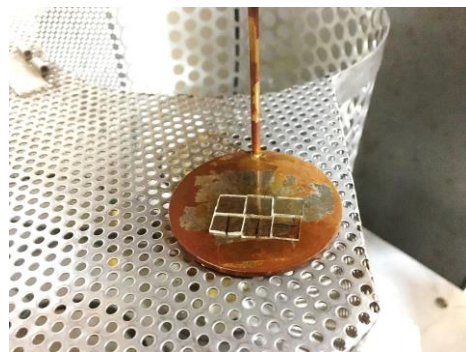
เก็บชิ้นงานตามเงื่อนไขด้วย
ถังซีปล็อก



3 ขั้นตอนการสังเคราะห์กราฟีน และการการเก็บชิ้นงาน



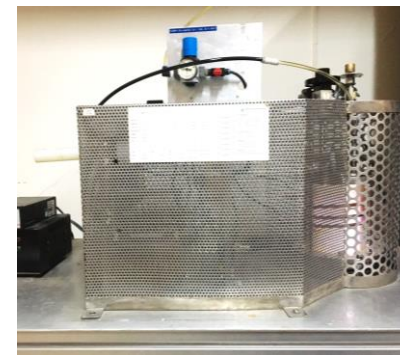
1 ทำสัญลักษณ์บนชิ้นงาน



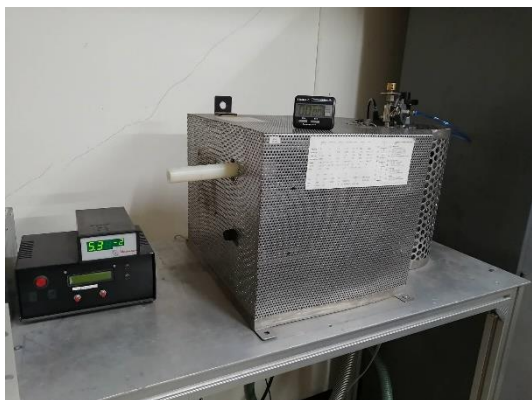
2 วางชิ้นงานบนฐานรอง โดยวางที่ตำแหน่งเดิมเสมอ



3 ป้อนอากาศให้ความดันภายใน ภาชนะสุญญากาศเท่ากับ 2×10^{-2}



4 ทำความสะอาดชิ้นงาน โดยใช้พลาสมาอาร์กอนเป็นเวลา 5 นาที



5 ป้อนอากาศให้ความดันภายในภาชนะสุญญากาศ เท่ากับ 2×10^{-2} อีกครั้ง

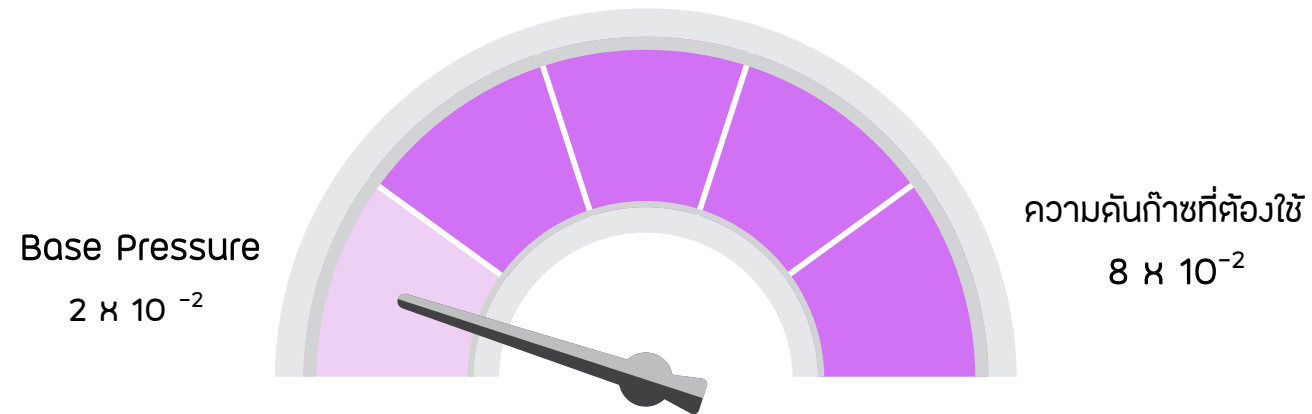


6 สังเคราะห์ฟิล์มโดยใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ตามตารางการทดลอง



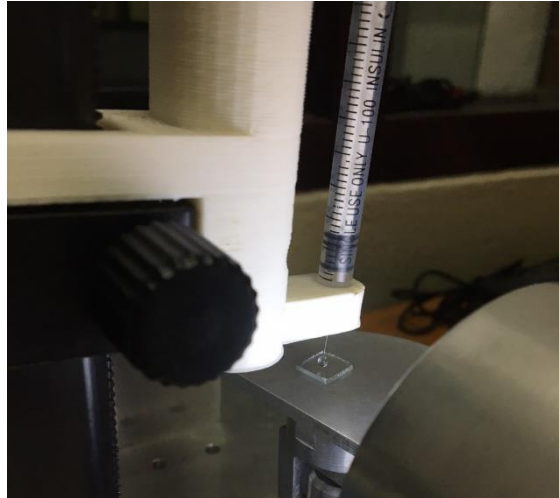
7 เก็บชิ้นงานลงในกล่อง และเก็บไว้ในตู้กันความชื้น

การคำนวณอัตราส่วนก๊าซที่ใช้ในการศึกษาวิจัยทำพลาสมา



	C_2H_2 (Torr)	H_2 (Torr)
30 : 70	2.4×10^{-2}	6.5×10^{-2}
40 : 60	3.2×10^{-2}	4.8×10^{-2}
50 : 50	4.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}

Contact Angle Goniometer



เมื่อทำการประยุกต์พลาสมาเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบวัดมุมสัมผัสทันที เพื่อป้องกันการลอกของฟิล์มเมื่อสัมผัสกับหยดน้ำ

Atomic Force Microscope



นำชิ้นงานที่ทำการประยุกต์พลาสมามาลบรอยปากกาด้วยแอลกอฮอล์ ก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ได้

Raman Spectroscopy



นำชิ้นงานที่ประยุกต์พลาสมาในเงื่อนไขที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์ เพื่อหาอัตลักษณ์ของฟิล์มบางที่สังเคราะห์ขึ้น



ศูนย์วิจัยทางฟิสิกส์ของพลาสมา และลำอนุภาค
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



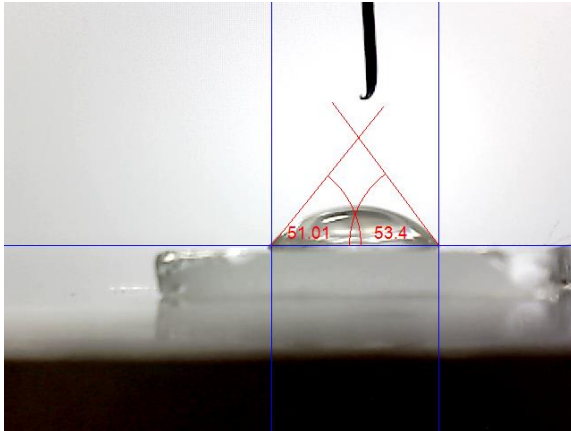
ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



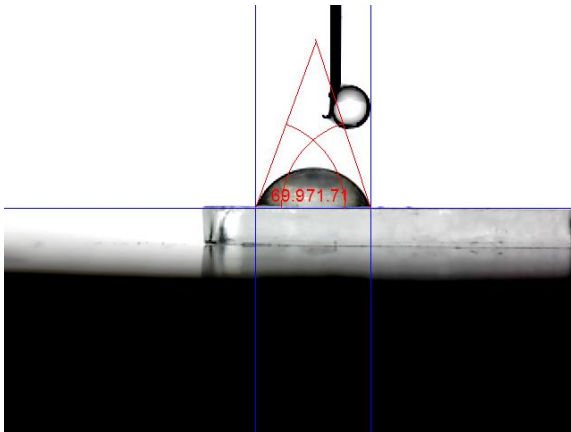
อุทยานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลการทดสอบวัดมุมสัมผัส

BEFORE



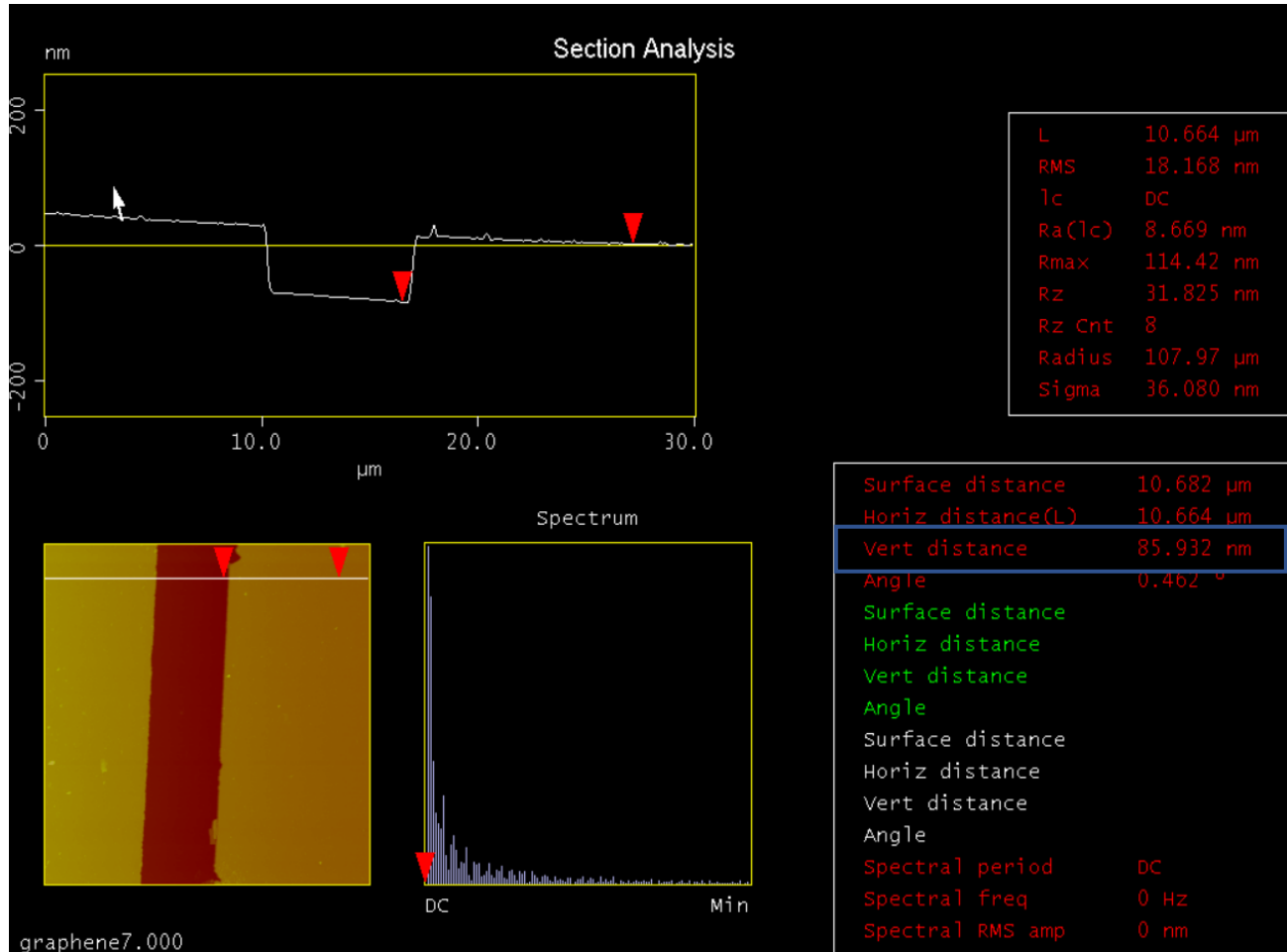
AFTER



จากการวิเคราะห์ไม่สามารถสรุปแนวโน้มของค่ามุมสัมผัสได้ แต่สามารถบอกได้ว่าพื้นผิวของชิ้นงานก่อน และหลังการประยุกต์พลาสมา มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และหยดน้ำมีลักษณะเป็น Hydrophilic

StdOrder	ค่ามุมสัมผัส (องศา)		
	ซ้าย	ขวา	เฉลี่ย
21	46.17	39.28	42.725
3	55.36	59.75	57.55
2	60.56	58.69	59.62
1	51.38	59.06	55.22
17	45.3	54.49	49.895
13	60.32	67.48	63.9
10	63.58	60.39	61.98
14	61.33	59.86	60.6
5	69.1	64.79	66.95
15	64.64	64.76	64.7
11	62.16	65	63.58
12	66.54	65.35	65.95
18	68.42	66.17	67.29
7	63.24	65.18	64.21
8	57.79	54.58	56.19
19	68.43	66.17	67.3
6	58.76	66.48	62.62
16	69.33	69.59	69.46
20	67.72	65.14	66.43
4	63.67	66.28	64.975
9	69.01	72.82	70.915

ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม Atomic Force Microscope (AFM)



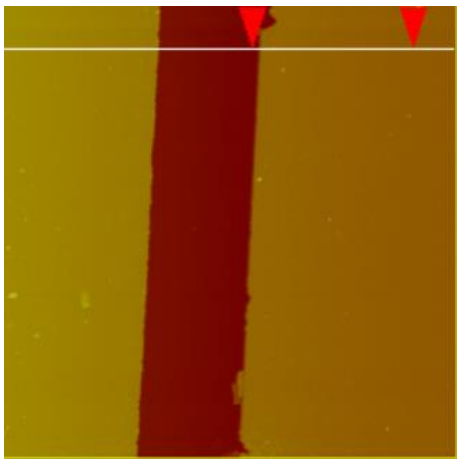
นำภาพถ่ายผิวหน้าของชิ้นงานที่ได้
วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม
Nanoscope SPM

➡ ค่าระยะแนวระนาบ Vert Distance
จะแสดงค่าความหนาของฟิล์ม

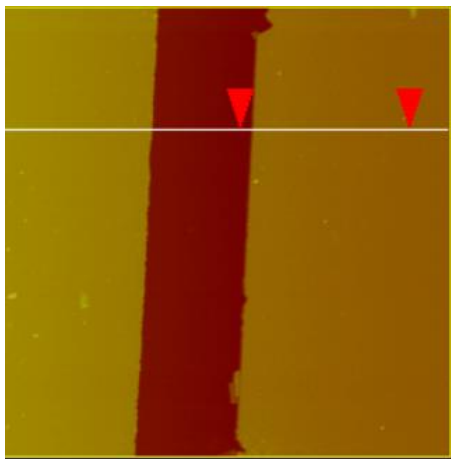
ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

Atomic Force Microscope (AFM)

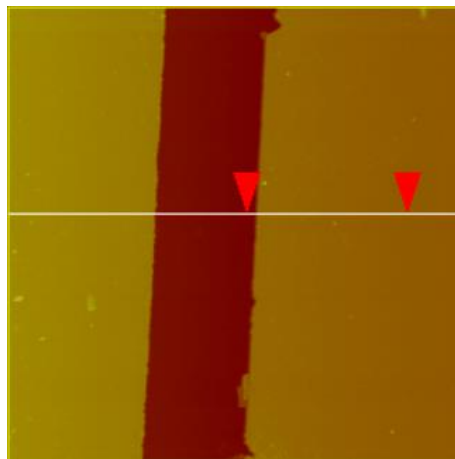
ทำการวัด 5 ตำแหน่ง นำค่าที่ได้มาหาความหนาเฉลี่ยของความหนาชั้นงาน



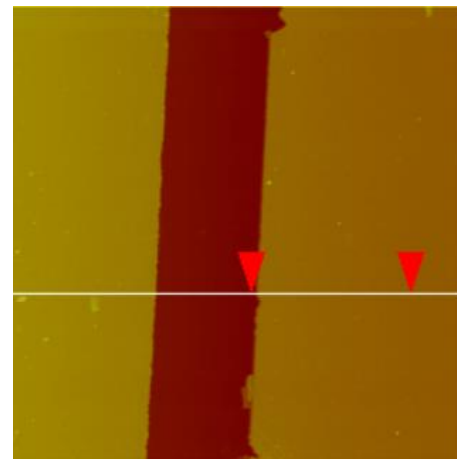
POSITION 1



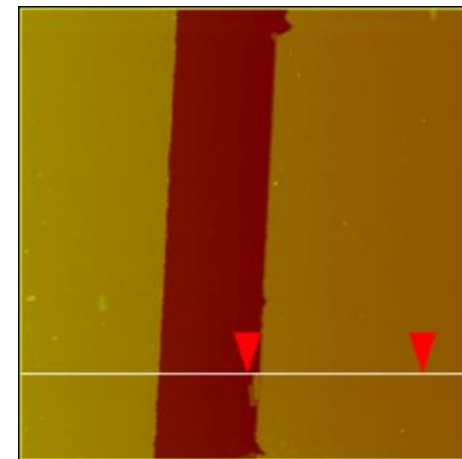
POSITION 2



POSITION 3



POSITION 4



POSITION 5

ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

Atomic Force Microscope (AFM)

ค่ากลาง

1	182.41
2	225.39
3	145.85
4	119.88
5	96.78

การทดลอง	ปัจจัย			การทำซ้ำ	
	กำลังไฟฟ้า	อัตราส่วน	เวลา	1	2
	(วัตต์)	C ₂ H ₂ : H ₂	(นาทีก)		
1	60	50:50	10	152.04	90.74
2	100	30:70	10	86.96	67.62
3	60	30:70	10	115.15	42.03
4	60	30:70	30	232.62	102.56
5	100	30:70	30	131.57	103.68
6	60	50:50	30	154.38	271.83
7	100	50:50	10	41.51	120.75
8	100	50:50	30	253.8	215.23

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าชั้นงานที่มีความหนาน้อยที่สุดที่เอื้อต่อการทดลอง กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ อัตราส่วนก๊าซ 30 : 70 และเวลาในการคิซซาร์จ 10 นาที มีความหนาเฉลี่ยของฟิล์มเท่ากับ 41.51 นาโนเมตร มุมสัมผัสเฉลี่ยระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวชั้นงานเท่ากับ 65.95 องศา

5 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ จากการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB 19



ตารางการ 5.1 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
53.8329	61.30%	35.50%	0.00%

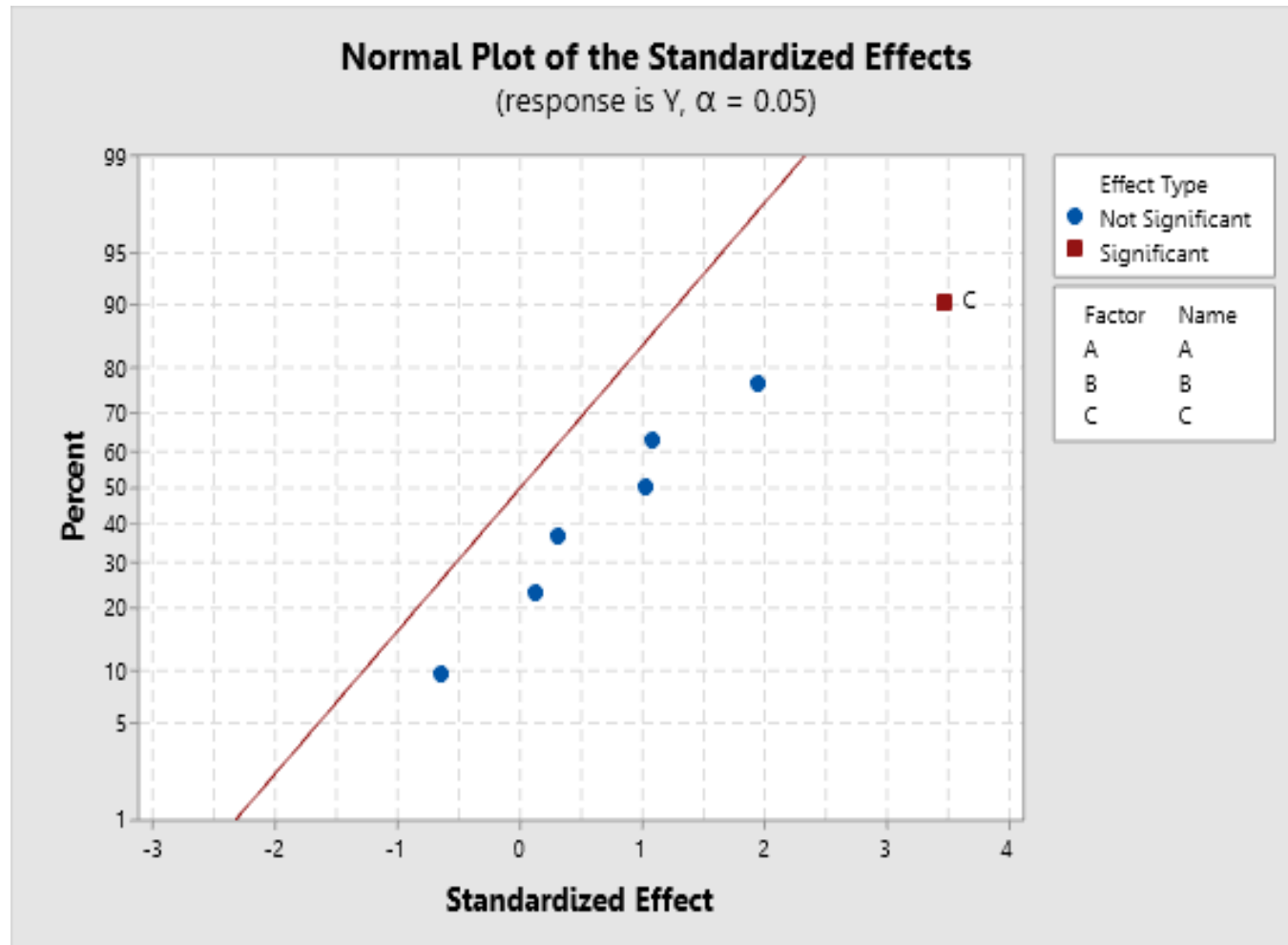
ตาราง 5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบความหนาของฟิล์มบาง

Source	DF	Coef	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8		55090.9	6886.4	2.38	0.086
Linear	3		47204.1	15734.7	5.43	0.014
กำลังไฟฟ้า	1	-8.8	1229.2	1229.2	0.42	0.527
อัตราส่วน	1	26.1	10924.5	10924.5	3.77	0.076
เวลา	1	46.8	35050.4	35050.4	12.09	0.005
2-Way Interactions	3		3655.2	1218.4	0.42	0.742
กำลังไฟฟ้า*อัตราส่วน	1	4.1	262.8	262.8	0.09	0.768
กำลังไฟฟ้า*เวลา	1	1.6	42.3	42.3	0.01	0.906
อัตราส่วน*เวลา	1	14.6	3350.1	3350.1	1.16	0.303
3-Way Interactions	1		3043.5	3043.5	1.05	0.326
กำลังไฟฟ้า*อัตราส่วน*เวลา	1	13.8	3043.5	3043.5	1.05	0.326
Curvature	1	17.7	1188.1	1188.1	0	0.534
Error	12		34775.7	2898.0		
Total	20		89866.6			

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) เพื่อวัดสมรรถนะโดยรวมของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 61.30 % P-value มีค่าเท่ากับ 0.086 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าแบบจำลองไม่เหมาะสม



การคัดกรองเฉพาะผลกระทบที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ



ผลกระทบของปัจจัยที่ผลต่อความหนาของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า **ผลกระทบหลัก ได้แก่ ปัจจัย C** คือ เวลาในการคิสรอพลาสติก

การทดลองที่จุดกึ่งกลางของปัจจัย (Curvature)



Source	DF	Coef	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8		55090.9	6886.4	2.38	0.086
Linear	3		47204.1	15734.7	5.43	0.014
กำลังไฟฟ้า	1	-8.8	1229.2	1229.2	0.42	0.527
อัตราส่วน	1	26.1	10924.5	10924.5	3.77	0.076
เวลา	1	46.8	35050.4	35050.4	12.09	0.005
2-Way Interactions	3		3655.2	1218.4	0.42	0.742
กำลังไฟฟ้า*อัตราส่วน	1	4.1	262.8	262.8	0.09	0.768
กำลังไฟฟ้า*เวลา	1	1.6	42.3	42.3	0.01	0.906
อัตราส่วน*เวลา	1	14.6	3350.1	3350.1	1.16	0.303
3-Way Interactions	1		3043.5	3043.5	1.05	0.326
กำลังไฟฟ้า*อัตราส่วน*เวลา	1	13.8	3043.5	3043.5	1.05	0.326
Curvature	1	17.7	1188.1	1188.1	0	0.534
Error	12		34775.7	2898.0		
Total	20		89866.6			

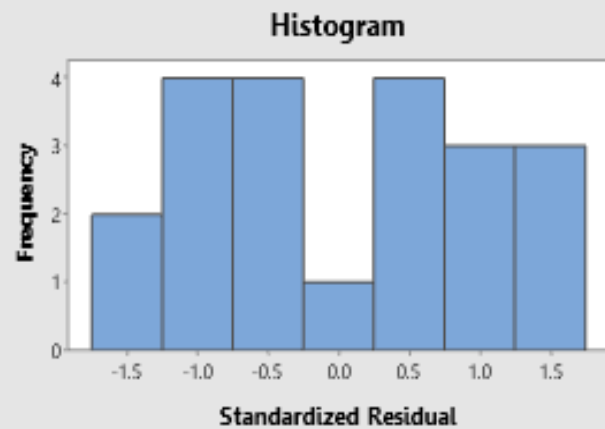
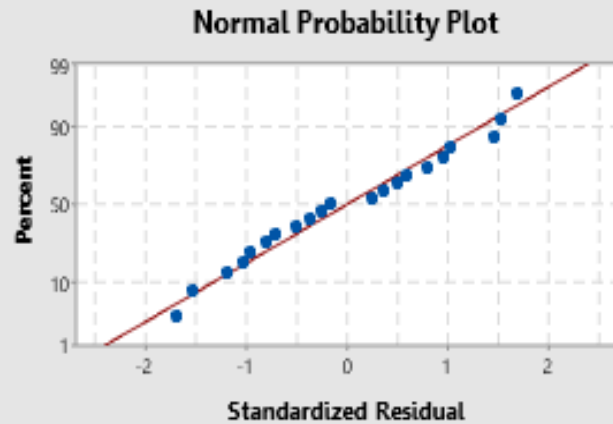
พิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความเป็นเส้นโค้ง มี **P-Value** เท่ากับ **0.534** ของผลตอบความหนาของฟิล์มบาง

จึงยอมรับสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ที่ว่าผลรวมของครอตกมีค่าเท่ากับศูนย์ แสดง
ว่าแบบเชิงเส้นรวมผลกระทบร่วมเหมาะสมแล้ว และไม่
จำเป็นต้องทำการทดลองเพิ่มเติม

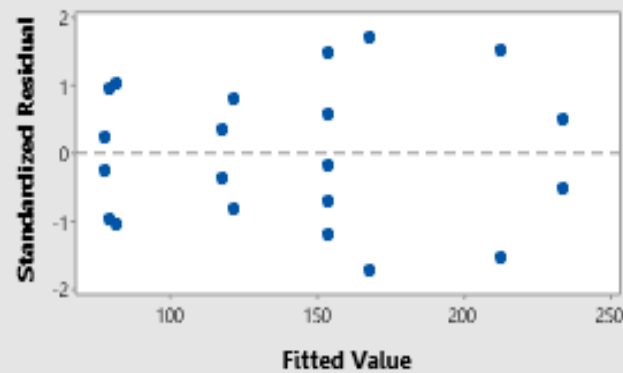


การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของผลตอบความหนาของฟิล์ม

Residual Plots for Y



Versus Fits



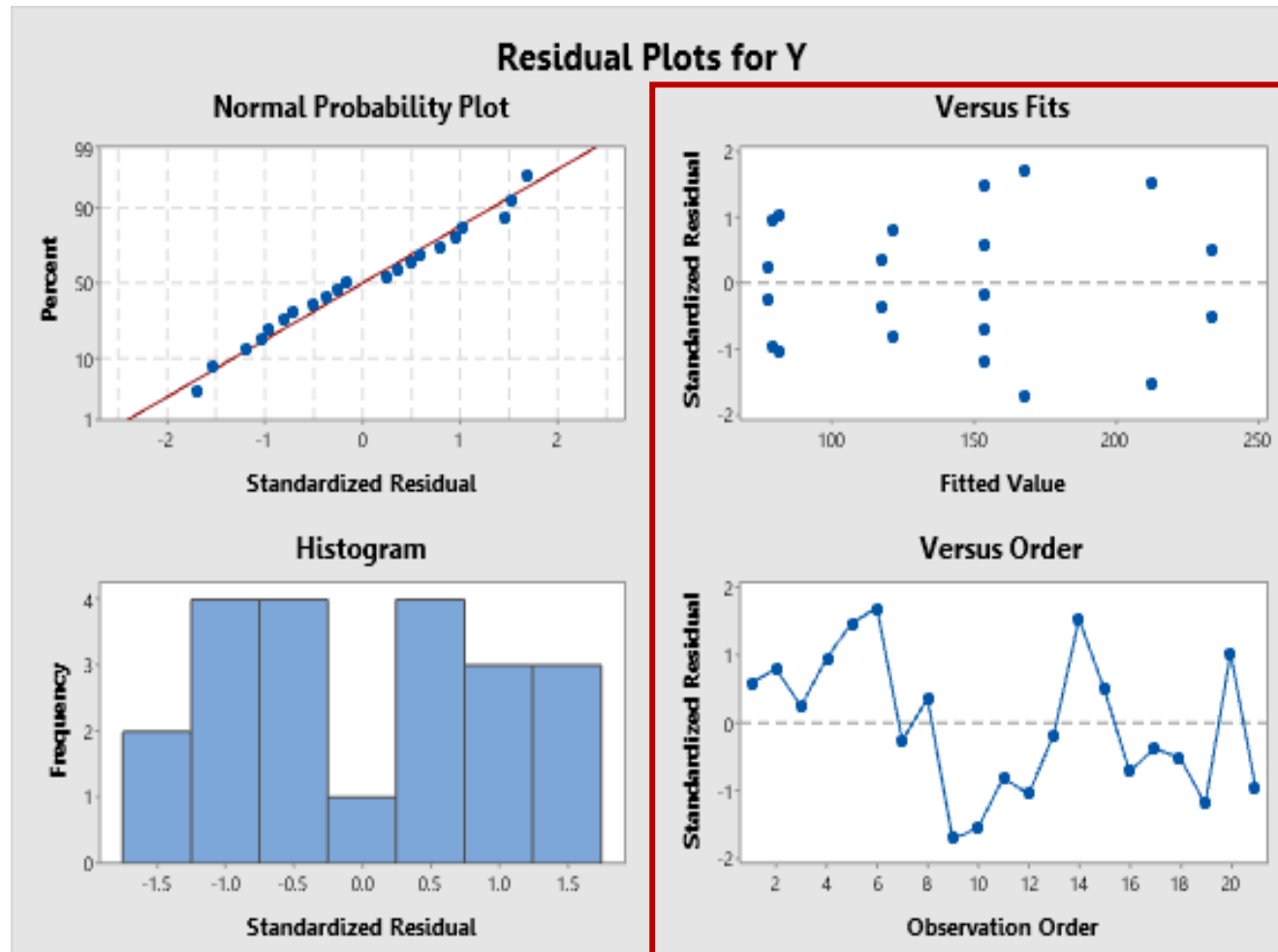
Versus Order



จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของ
ส่วนค้าง กระจายตัวของส่วนตกค้าง
ของข้อมูลผลตอบ มีแนวโน้มกระจายตัว
แบบปกติ



การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของผลตอบความหนาของฟิล์ม



กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย
พบว่า ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบไม่อิสระ
ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย ดังนั้นการทดลองในครั้ง
นี้จึงไม่ควรนำไปใช้



การสร้างแบบจำลองถดถอย

$$y = 136.4 - 8.8A + 26.1B + 46.8C + 4.1 AB + 1.6AC + 14.5 BC + 13.8ABC + 17.7 Ct Pt$$

แบบจำลองจะรวมเฉพาะปัจจัยที่จำเป็น ได้แก่ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ และตัดปัจจัยที่ไม่จำเป็นออก ดังนี้

$$y = 136.4 - 8.8A$$

โดยเงื่อนไขที่ดีที่สุดของการออกแบบการทดลอง คือ

กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์

อัตราส่วนระหว่างก๊าซอะเซทิลีน กับก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 30 : 70

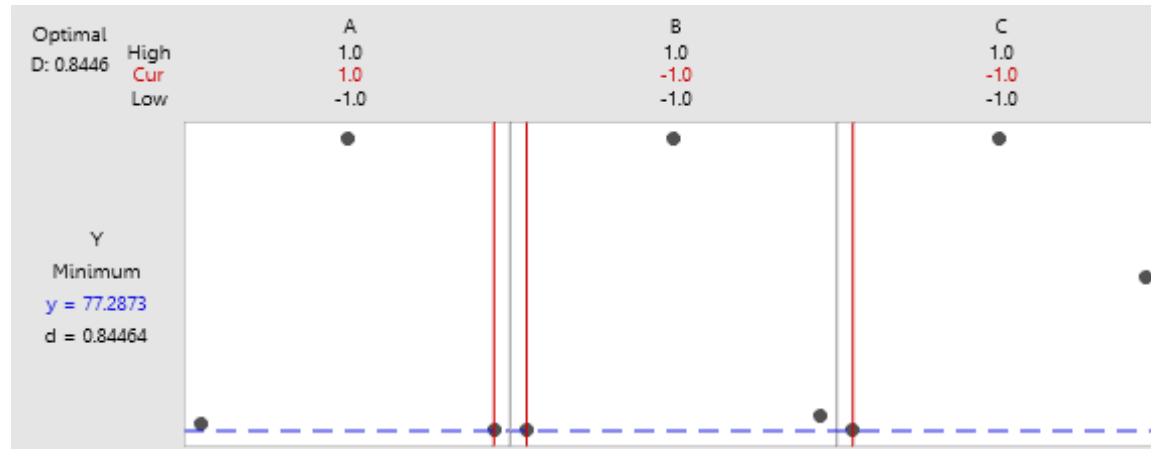
เวลาในการคิซาร์วพลาสมา 10 นาที



การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลตอบ

Response Optimizer

★ Response Optimizer...



ค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาน้อยที่สุด คือ

- กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์
- อัตราส่วนระหว่างก๊าซอะเซทิลีนกับก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 30 : 70
- เวลาในการดิสชาร์จพลาสมา 10 นาที

ได้ค่าพยากรณ์ความหนาเท่ากับ **77.2873** นาโนเมตร

จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งเพื่อยืนยันผล

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์

เมื่อประยุกต์พลาสมาในเว็อนไซ

กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์

อัตราส่วนระหว่างก๊าซอะเซทิลีนกับก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 30 : 70

เวลาในการคิสรังพลาสมา 10 นาที

ตรวจสอบความหนาของฟิล์มบางโดยใช้ AFM

ชิ้นงานที่	ความหนาของฟิล์ม (นาโนเมตร)					
	ตำแหน่ง 1	ตำแหน่ง 2	ตำแหน่ง 3	ตำแหน่ง 4	ตำแหน่ง 5	ค่าเฉลี่ย
1	80.574	79.377	80.429	80.651	81.423	80.4908
2	70.561	69.157	68.866	67.688	66.829	68.6202
3	72.395	71.762	72.608	70.08	71.479	71.6648



การทดสอบ T-test

เพื่อยืนยันผลว่าแบบจำลองต่อผลตอบความหนาของฟิล์มบางสามารถใช้ได้จริง และมีค่าใกล้เคียงกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองหรือไม่

Test

Null hypothesis

$$H_0: \mu = 77.2873$$

Alternative hypothesis

$$H_1: \mu \neq 77.2873$$

ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ก	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ	T-Value	P-Value
3	73.59	6.17	3.56	(58.28, 88.91)	-1.04	0.408

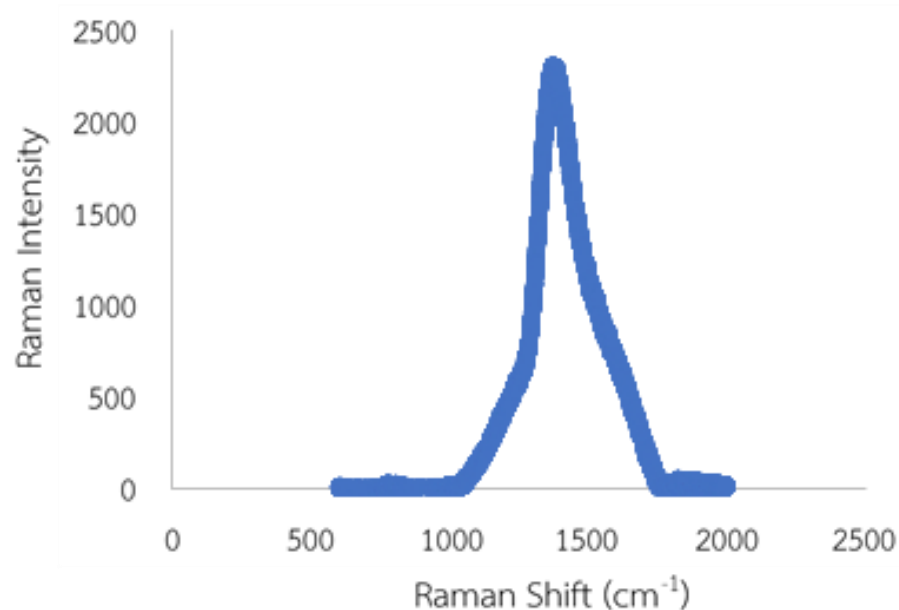
ทำการทดสอบเทียบกับค่าพยากรณ์ความหนาของฟิล์มบาง

พบว่ามีค่า P-value เท่ากับ 0.408

ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก

แสดงว่าข้อมูลความหนาของฟิล์มมีค่าเท่ากับ ค่าพยากรณ์ที่ 77.2873 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ด้วย Raman Spectroscopy



จากการวิเคราะห์ชิ้นงานที่ผ่านการสังเคราะห์ในเว็อนไซที่มี
กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ อัตราส่วนอะเซทิกสีนต่อไฮโดรเจนเท่ากับ
30:70 และใช้เวลาในการคิสซาร์โพลามา 10 นาที พบว่าเลข
คลื่น (Wave number) มีค่าเท่ากับ 1382.10 cm^{-1} ซึ่งไม่ใช่
ลักษณะของฟิล์มกราฟีน แต่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบกราฟีน
ไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าเลขคลื่นอยู่ที่ 1380 cm^{-1}



สรุปผลการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ คือ เวลาในการคิสซาร์จ ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการคิสซาร์จพลาสมา คือ กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ อัตราส่วนระหว่างก๊าซอะเซทิลีน กับก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 30 : 70 เวลาในการคิสซาร์จพลาสมา 10 นาที ความหนาฟิล์มบางน้อยที่สุดเท่ากับ 77.2873 นาโนเมตร

เมื่อวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสน้ำ และวิเคราะห์เอกลักษณ์ของฟิล์มบางโดยใช้เทคนิครามานสเปกโตรสโคปี แล้วทำให้ทราบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้นั้นไม่ใช่แผ่นฟิล์มกราฟีนโดยตรง แต่เป็นแผ่นฟิล์มกราฟีนออกไซด์

ข้อเสนอแนะ

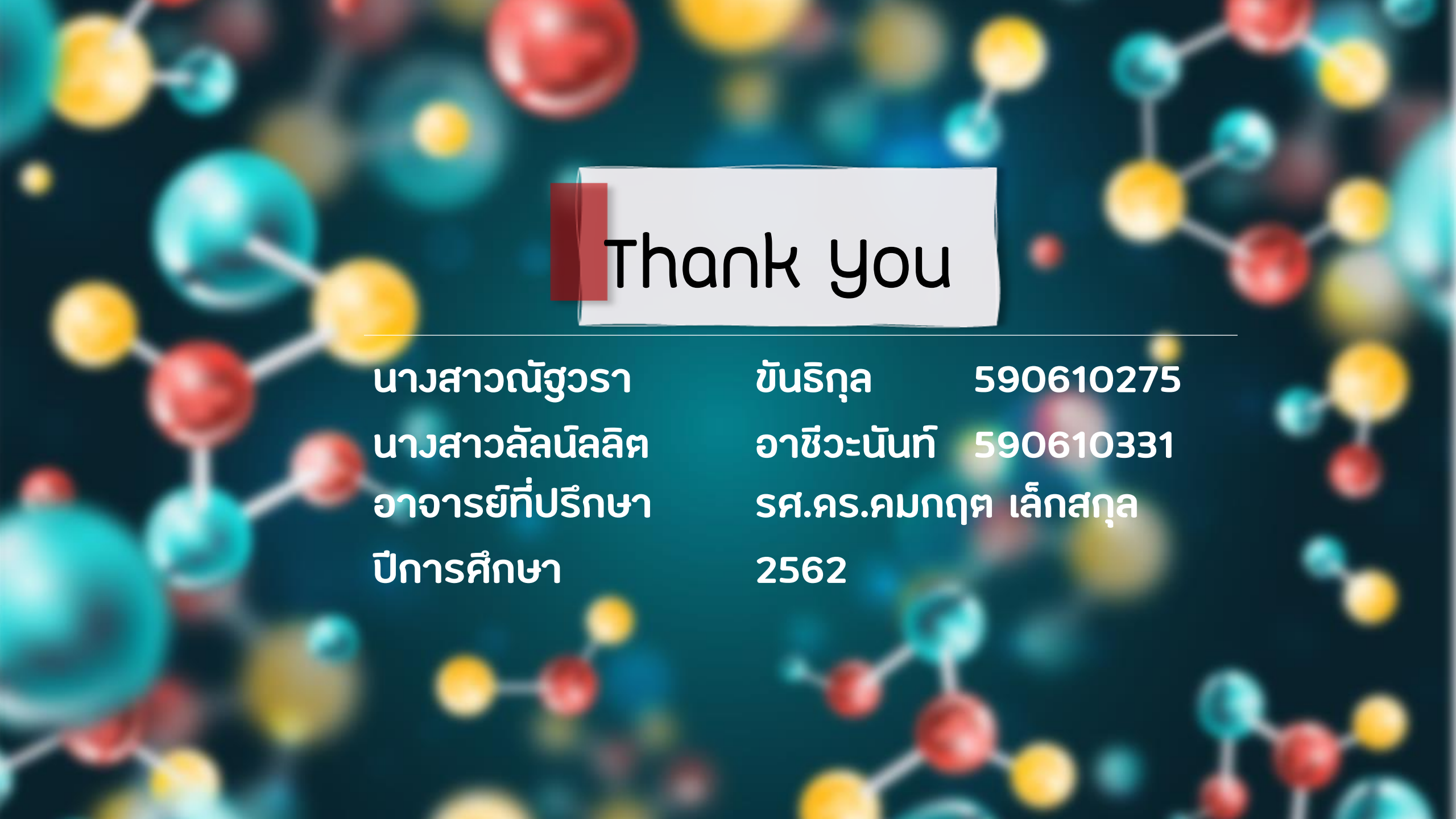
1. การศึกษากระบวนการคิซาร์จอากาศ ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ฟิล์มกราฟีนลงบนวัสดุฐาน จึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้อาจไม่ใช่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดกับการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวัสดุฐานทุกชนิด การทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อเป็นประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมของประเทศไทย
2. การใช้เครื่องคิซาร์จพลาสมาความดันต่ำ ควรใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศที่มีกำลังมากขึ้นเพื่อให้มีความดันที่ต่ำมากเพื่อให้อากาศภายในภาชนะสุญญากาศสะอาดมากที่สุด และเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ฟิล์มกราฟีน
3. ควรทำการทดลองในห้องปิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องปั๊มสุญญากาศ
4. ชั้นวางชั้นงานทดสอบภายในภาชนะสุญญากาศมีพื้นเหมาะสมสำหรับวางชั้นงานทดสอบที่มีขนาดเล็ก และเหมาะสมสำหรับชั้นงานจำนวนไม่มาก ดังนั้นหากต้องการใช้พื้นที่สำหรับวางชั้นงานทดสอบหลายตัวอย่างควรเปลี่ยนไปใช้เครื่องพลาสมาความดันต่ำมีขนาดใหญ่กว่าเพื่อความเหมาะสมในการทดลอง

ปัญหา และแนวทางการแก้ไข

ปัญหา อุปสรรค

แนวทางการแก้ไข

- | | |
|---|---|
| 1. การปั๊มสุญญากาศค่อนข้างใช้เวลานาน เนื่องจากความสามารถของเครื่องปั๊ม และอากาศบริเวณรอบข้างทำให้การทดลองในแต่ละเว็อนใช้เวลานาน | ทำการดำเนินเครื่องคิสชาธิวผลาสมาย่างต่อเนื่องเพื่อให้ความคั่นในภาชนะสุญญากาศต่ำเสมอ |
| 2. มีอากาศตกค้างในก่อนำก๊าซที่ต่อมายังภาชนะสุญญากาศ | ทำการคิสชาธิวผลาสมายที่มีส่วนผสมของก๊าซอะเซทิลีน และไฮโดรเจนก่อนนำขึ้นงานใส่เข้าไปยังภาชนะสุญญากาศ แล้วจึงเริ่มการทดลอง |
| 3. การดำเนินเครื่องคิสชาธิวผลาสมายต่อเนื่องในกระบวนการตกเคลือบไอสะสมของก๊าซอะเซทิลีน จะเกิดการสะสมของไอน้ำบริเวณผนังของภาชนะสุญญากาศ ทำใหัภาชนะสุญญากาศไม่สะอาด | ทำความสะอาดผนังของภาชนะสุญญากาศโดยนำกระดาษทิชชูชุบแอลกอฮอล์ใช้คอกออก หากภาชนะมีความสกปรกมากให้ทำการถอดภาชนะสุญญากาศออกมาแช่ด้วยน้ำสะอาดเป็นเวลา 2 วัน |
| 4. หากเก็บชิ้นงานเป็นเวลาเกิน 1 สัปดาห์ จะทำฟิล์มลอกออกได้ | หลังจากทำการประยุกธิผลาสมายแล้วควรนำไปตรวจสอบวัดมุมสัมผัสทันทีเพื่อป้องกันอาการหลุดลอกของฟิล์มเมื่อโดนหยคน้ำ และจัดเก็บชิ้นงานในตู้ควบคุมความชื้นไม่เกิน 3 วัน ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม |



Thank you

นางสาวณัฐวรา

ชั้นริกุล 590610275

นางสาวลลนิลลิต

อาชีวะนันท์ 590610331

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล

ปีการศึกษา

2562